

**Олександр ОСИПОВ,**

д-р техн. наук, професор

ORCID: 0000-0002-5463-3976

**Олена ЄМЕЛЬЯНОВА,**

канд. наук з держ. упр., професор

ORCID: 0000-0001-9831-4734

*Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ*

## **ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В УПРАВЛІННІ КОМПЛЕКТАЦІЄЮ ТА ЛОГІСТИКОЮ ЗБІРНОГО ЖИТЛОВОГО БУДІВНИЦТВА**

*У статті досліджено сучасні підходи до застосування інформаційних технологій в управлінні комплектацією та логістикою збірного житлового будівництва. Актуальність дослідження обумовлена зростаючими темпами урбанізації, підвищеним попитом на доступне житло та необхідністю скорочення строків реалізації будівельних проєктів. Традиційні методи організації будівництва часто характеризуються недостатньою координацією матеріальних, інформаційних і транспортних потоків, що призводить до перевитрат ресурсів, затримок у постачанні та зниження загальної ефективності будівельного виробництва. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває впровадження цифрових технологій управління логістикою та комплектацією у сфері збірного та модульного будівництва.*

*Метою дослідження є комплексний аналіз можливостей використання сучасних інформаційних технологій, зокрема BIM-моделювання, Інтернету речей (ІоТ), хмарних обчислень та інтелектуальних систем управління ланцюгами постачання, для підвищення ефективності процесів комплектації та логістики у збірному житловому будівництві. У роботі застосовано методи системного аналізу, математичного моделювання, порівняльного аналізу та оптимізаційні алгоритми. Зокрема, для дослідження логістичних процесів використано модель двокритеріальної оптимізації з урахуванням вуглецевих викидів та рівня задоволеності клієнтів, реалізовану на основі алгоритму NSGA-II. Також проведено моделювання виробничих процесів складання модульних конструкцій у середовищі Visual Components 3D.*

*Отримані результати свідчать, що застосування цифрових технологій дозволяє значно підвищити ефективність управління логістикою будівельних проєктів. Порівняльний аналіз ручного та автоматизованого складання модулів показав, що використання роботизованих виробничих ліній дозволяє скоротити тривалість виробничих операцій у середньому на 35–38 %, а економічні розрахунки підтверджують високу рентабельність таких інвестицій. У роботі також визначено основні бар'єри впровадження цифрових технологій у сфері збірного будівництва, серед яких економічні обмеження, технічні проблеми інтеграції інформаційних систем, кадрові виклики та недосконалість нормативної бази.*



*Запропоновано методологічні підходи до подолання зазначених проблем, що ґрунтуються на процесно-орієнтованій моделі управління життєвим циклом будівельних проєктів та інтеграції систем CAD-BIM-CAM.*

**Ключові слова:** *збірне будівництво; модульне будівництво; логістика постачання; інформаційні технології; BIM-моделювання; автоматизація виробництва; сталий розвиток, управління ресурсами, інформаційні системи управління ресурсами, якість будівництва, управління якістю, технічний нагляд, цифровізація, логістично-структурне забезпечення будівництва, цифровізація, BIM, інжиніринг, девелопмент.*

**Вступ.** Стрімка урбанізація та глобальні виклики, пов'язані з необхідністю швидкого забезпечення населення доступним житлом, зумовлюють невідне зростання попиту на збірне (модульне) будівництво. Лише станом на кінець 2023 року, за даними Агентства ООН у справах біженців (UNHCR), понад 117,2 мільйона людей у світі були вимушено переміщені через військові конфлікти та глобальні кризи [7]. UN-Habitat прогнозує, що до 2030 року близько 3 мільярдів людей потребуватимуть належного житла, що означає необхідність зведення 96 000 нових одиниць доступного житла щодня [7]. Традиційні методи будівництва не здатні забезпечити такі темпи через тривалі терміни виконання, високу вартість, низьку продуктивність праці та значні екологічні ризики. Натомість збірне будівництво, що класифікується на 1D, 2D (панельні системи) та 3D (об'ємні модулі), пропонує перенесення більшості виробничих процесів у контрольоване заводське середовище з подальшим транспортуванням та швидким монтажем на майданчику [7].

Проте ця індустріалізована модель висуває надзвичайно високі вимоги до логістики та синхронізації процесів. Логістика – це складна теорія і практична діяльність з планування, організації, функціонального управління та контролю процесів руху матеріальних, фінансових та інформаційних потоків у системі ринкової економіки [2]. У будівельній галузі постачання ускладнюється глобалізованими ланцюгами, людським фактором та застарілими моделями управління [5]. Зокрема, будівельна галузь споживає близько 40% енергії у всьому світі, генерує близько 50% відходів на сміттєзвалищах та відповідає за 39% глобальних викидів CO<sub>2</sub>, значна частина яких припадає саме на транспортну логістику [3]. Отже, перехід до стратегії сталого розвитку та «зеленої логістики» неможливий без глибокої цифрової трансформації процесів постачання та комплектації [3]. Впровадження підходів Індустрії 4.0 дозволяє створити динамічне, кіберфізичне середовище для проактивного управління ресурсами [5].

**Актуальність** дослідження зумовлена необхідністю радикального підвищення продуктивності та керованості збірного (модульного) житлового будівництва в умовах зростання попиту на швидке зведення об'єктів і одночасного посилення вимог до енергоефективності та сталого розвитку. Індустріалізована модель будівництва переносить значну частину робіт у заводське середовище, однак критично залежить від синхронізації «виробництво–транспортування–монтаж». На практиці саме логістика та комплектація стають «вузьким місцем» проєкту: порушення ритмічності постачання призводить до простоїв механізмів і бригад, перевитрат ресурсів, накопичення запасів або дефіциту елементів на майданчику. Поряд із цим зростає значущість екологічної складової: транспортна логістика формує істотну частку впливу будівництва на довкілля, що актуалізує підходи «зеленої логістики» та скорочення зайвих перевезень і простоїв [3]. У цих умовах

особливого значення набуває цифрова трансформація управління ланцюгами постачання, зокрема застосування BIM-моделювання, IoT-моніторингу, хмарних середовищ, інтегрованих систем SCM, а також впровадження ЛІТ-постачання як організаційної передумови високої швидкості монтажу [5], [8]. Паралельно з цим індустріалізація потребує автоматизації заводської комплектації та стандартизації виробничих сценаріїв, що підтверджується актуальними дослідженнями в напрямі роботизації префабрикації та оцінювання бар'єрів її впровадження [6], [7].

**Постановка проблеми** полягає у тому, що традиційні підходи до управління комплектацією і логістикою в збірному житловому будівництві залишаються фрагментарними й реактивними: планування виробництва, постачання та монтажу виконується з недостатньою інтеграцією даних і без повного врахування динаміки ризиків транспортування, обмежень будівельного майданчика та необхідності «монтажу з коліс». У результаті виникають координаційні втрати — запізнення або передчасне постачання, зайві складські операції, невідповідність комплектів елементів монтажній послідовності, простої кранів і бригад, а також перевитрати часу і коштів. Окремим складним аспектом є необхідність одночасної оптимізації економічних і екологічних критеріїв логістики: з одного боку потрібна мінімізація витрат і строків, а з іншого – зменшення вуглецевого сліду та забезпечення стійкості проєктних рішень [3], [8]. Таким чином, виникає об'єктивна потреба у формуванні цифрово підтриманого підходу до управління комплектацією та логістикою, який об'єднає BIM-координацію, IoT-моніторинг, інтегровані системи управління постачанням і виробництвом, а також оптимізаційні моделі прийняття рішень (зокрема для ЛІТ-логістики) в єдину організаційно-технологічну систему управління потоком у префабрикації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Сучасні дослідження вказують на поступове зміщення фокуса від «локального» управління закупівлями та поставками до формування інтегрованої цифрової екосистеми, у межах якої логістика пов'язується з плануванням будівництва, просторовою координацією та управлінням ресурсами. Зокрема, у роботах, присвячених «зеленій логістиці» в будівництві, підкреслюється необхідність переходу до більш екологічних і раціональних схем постачання, що зменшують зайві операції й викиди, та підсилюють стійкість логістичних рішень [3]. Паралельно дослідники розглядають цифрові технології як інструмент оптимізації постачання і координації процесів, акцентуючи на значущості цифрових рішень для зниження логістичних втрат і підвищення прозорості управління ланцюгами постачання [5].

Помітний блок робіт присвячено методологічному забезпеченню організації будівництва та підвищенню ефективності реалізації проєктів, де підкреслюється роль системності організаційно-технологічних рішень і важливість узгодженості виробничих та управлінських процедур у складних умовах [4]. Разом із тим, дослідження вказують, що цифрові технології повинні інтегруватися з організаційними моделями (stage-gate, DfMA), забезпечуючи наскрізний зв'язок між проєктуванням, виробництвом і монтажем у межах CAD–BIM–CAM контурів [4], [5].

Окремий напрям охоплює питання автоматизації префабрикації. Актуальні публікації демонструють ефекти роботизації модульного виробництва та порівняння ручних і автоматизованих сценаріїв складання, а також описують економічні, технічні, кадрові та регуляторні бар'єри, що стримують масштабування автоматизації на заводах [6], [7]. У сфері логістики модульного будівництва

активізуються дослідження JT-постачання та оптимізаційних моделей управління транспортними потоками; зокрема, застосовуються двокритеріальні підходи, що враховують одночасно екологічні показники та параметри своєчасності/задоволеності, і використовуються сучасні оптимізаційні алгоритми для формування компромісних рішень [8].

**Метою дослідження** цієї статті є розгляд можливостей та комплексна оцінка впливу сучасних інформаційних технологій (BIM, IoT, хмарні обчислення) на процеси постачання, комплектації та логістики у сфері збірного житлового будівництва. Дослідження також має на меті проаналізувати ефективність впровадження моделі Just-In-Time (JIT) та автоматизованих ліній збирання за допомогою детальних розрахунків, описати результати моделювання транспортних процесів, виявити ключові бар'єри на шляху цифровізації та запропонувати методологічні підходи для їх успішного подолання.

**Наукова новизна** статті полягає в обґрунтуванні комплексного підходу до управління комплектацією та логістикою збірного житлового будівництва, який розглядає логістичний потік як матеріальне відображення цифрово синхронізованих інформаційних потоків і забезпечує перехід від фрагментарного управління до проактивної координації ресурсів у реальному часі. У роботі набули подальшого розвитку методичні засади цифрової екосистеми управління логістикою комплектації через інтеграцію BIM-моделювання, IoT-моніторингу та систем SCM із організаційно-технологічною моделлю реалізації проекту, що дозволяє підвищити ритмічність постачання та зменшити координаційні втрати [5]. Науково обґрунтовано застосування JT-постачання у збірному будівництві з використанням оптимізаційного підходу та двокритеріальної постановки задачі (екологічність/своєчасність), що формує основу для вибору компромісних логістичних рішень у умовах невизначеності транспортного середовища [3], [8]. Додатково систематизовано взаємозв'язок між автоматизацією префабрикації та ефективністю логістики комплектації, показано роль бар'єрів цифровізації та запропоновано методологічні підходи їх подолання на основі процесно-орієнтованого управління та наскрізної інтеграції CAD–BIM–CAM, що створює умови для масштабування індустріального житлового будівництва [4], [6], [7].

### **Виклад основного інформації.**

#### **1. Формування цифрової екосистеми управління логістикою комплектації.**

Традиційні підходи до закупівель і постачання в будівництві переважно ґрунтуються на ручній координації та паперовому документообігу, що є вкрай неефективним в умовах стислих термінів. Цифрова трансформація будівельної логістики створює екосистему, де управління матеріально-технічними потоками здійснюється в режимі реального часу. Детальна характеристика цифрових інструментів та їхнього впливу на будівельну логістику дозволяє виокремити такі ключові технології: По-перше, інформаційне моделювання будівель (BIM) забезпечує глибоку інтеграцію просторової логістики з плануванням будівництва. Застосування 4D та 5D вимірів у BIM-моделюванні гарантує точну візуальну координацію графіків поставок і місць зберігання. Завдяки цьому значно зменшується кількість перероблень і запобігається виникненню просторових колізій на майданчику [5]. По-друге, Інтернет речей (IoT) та різноманітні сенсорні технології, такі як GPS-трекери та RFID-мітки, виконують незамінну функцію у відстеженні геолокації. Вони дозволяють здійснювати постійний моніторинг фізичного стану матеріалів (наприклад, вологості або температури), забезпечуючи повну видимість ланцюга постачання та проактивне управління ризиками

пошкодження вантажів [5]. По-третє, хмарні рішення та мобільні додатки слугують базисом для централізованого зберігання інформації та дистанційного обміну даними. Їх функціональна роль полягає в забезпеченні миттєвої комунікації між заводом і підрядниками, що радикально підвищує швидкість прийняття рішень та створення звітів у реальному часі [5]. По-четверте, системи управління ланцюгами постачань (SCM), які інтегрують штучний інтелект та алгоритми машинного навчання, відповідають за наскрізну координацію закупівель та інвентаризації. Вони здійснюють прогнозу аналітику, що призводить до мінімізації надлишкових запасів, жорсткого контролю витрат та суттєвого підвищення операційної ефективності [5]. Зрештою, технологія блокчейн формує незмінний розподілений реєстр транзакцій у ланцюгу постачань. Ця інновація гарантує абсолютну прозорість, відстежуваність кожного компонента та автоматизацію фінансових розрахунків через смарт-контракти [5].

Ефективність таких екосистем безперечно доведена на практиці. Під час реалізації масштабного проєкту Crossrail у Лондоні використовувалася система управління логістикою з прив'язкою до BIM, що дозволило оптимізувати постачання матеріалів для понад 50 вузлів і мінімізувати перешкоди для міського руху [5]. Також показовим є сингапурський цифровий район Пунггол, де цифровий двійник використовувався для комплексного планування логістики, що призвело до істотного підвищення стійкості завдяки уникненню надлишкових транспортних операцій [5].

## 2. Логістична модель Just-In-Time (JIT) та двокритеріальна оптимізація.

Стиснені умови будівельного майданчика є критичним фактором, що унеможлиблює складування об'ємних 3D-модулів [8]. У цьому контексті концепція «точно в термін» (JIT) стає життєво необхідною: транспортний засіб прибуває безпосередньо під монтажний кран, обминаючи етап тимчасового зберігання. Однак JIT пов'язана з високим рівнем невизначеності, як-от транспортні затори. Для оптимізації розроблено математичну модель, спрямовану на мінімізацію викидів вуглецю (TE) та максимізацію задоволеності клієнтів (TC) [8]. Цільові функції розраховуються за формулами:

$$\min TE = E_A + E_B + E_D \quad (1)$$

де  $E_A$ ,  $E_B$ ,  $E_D$  – викиди вуглецю під час навантаження, транспортування та монтажу відповідно [8].

$$\max TC = \Sigma ((C_{sn} + C'_{sn}) / 2) * sn \quad (2)$$

де  $C_{sn}$  – задоволеність часом прибуття транспорту, а  $C'_{sn}$  – задоволеність плавністю перемикання між поставками [8].

Розрахунок загального часу очікування транспортного засобу ( $TDT_{sn}$ ) є ключовим і визначається як:

$$TDT_{sn} = DAT_{sn} + \gamma * DBT_{sn} + \delta * DCT_{sn} \quad (3)$$

де  $DAT_{sn}$  – час очікування на заводі під час завантаження;  $DBT_{sn}$  – час простою через надто раннє прибуття (до відкриття часового вікна);  $DCT_{sn}$  – час очікування зайнятого крана. Змінні  $\gamma$  та  $\delta$  – бінарні індикатори [8].

Для вирішення цієї NP-складної проблеми застосовується покращений алгоритм NSGA-II, який формує фронт Парето [8]. Графічний аналіз ефективності моделі JIT порівняно з традиційною логістикою наочно демонструє переваги оптимізації. При побудові графіка фронту Парето, що відображає залежність між загальними викидами вуглецю (вісь ординат) та рівнем задоволеності клієнта (вісь

абсисе), чітко видно, що для традиційної моделі рішення концентруються у діапазоні вищих викидів вуглецю (в середньому 7282–8236 кг CO<sub>2</sub>). Натомість крива для JT-моделі має значно стрімкіший спад і зміщена вліво та вниз, охоплюючи діапазон від 7033 до 10201 кг CO<sub>2</sub>. Цей графічний розподіл доводить, що JT дозволяє знаходити компромісні рішення з меншими викидами при збереженні показника своєчасності поставок на рівні 96-97% [8]. Крім того, розрахунки впливу затворів на дорогах показують стійкість JT: при 10% зростанні трафіку викиди вуглецю у традиційній моделі зростають на 10,81%, тоді як у моделі JT – лише на 5,83% [8]. Застосування змішаного автопарку (вантажівки 8т, 15т, 20т) дозволяє досягти мінімуму вуглецевого сліду (7033,73 кг) при задоволеності клієнта на рівні 97,34% [8].

**3. Автоматизація та комплектація на заводах збірного будівництва.** Впровадження автоматизації на заводах є фундаментом для ефективної логістики комплектації. Сучасні лінії використовують промислово-робототехніку: потягні роботи, шарнірно-зчленовані маніпулятори з вакуумними захватами (наприклад, обладнання Weinman та Randek) для формування каркасів, укладання ізоляції та обшивки стін [7].

Порівняльний аналіз швидкості збирання об'ємних модулів у симуляційному середовищі Visual Components наочно підтверджує математичну та часову перевагу автоматизації над ручною працею. Дослідження базувалося на чотирьох типах житлових модулів (А, В, С, D). Для Модуля А (тип «Студія», площею 29,25 кв.м) загальний час збірки із залученням ручної праці становить 2 години 14 хвилин 56 секунд. Застосування повністю автоматизованої лінії дозволяє скоротити цей виробничий час до 1 години 24 хвилин 34 секунд, що забезпечує загальну оптимізацію часу на рівні 37,33%. Модуль В (апартаменти з 1 спальнею, площею 22,20 кв.м) збирається командою робітників вручну за 51 хвилину 26 секунд. Використання промислової робототехніки істотно зменшує тривалість процесу до 32 хвилин 52 секунд, що демонструє економію часу у 36,10%. Для більших за розміром модулів ця тенденція безперечно зберігається. Збірка Модуля С (апартаменти з 2 спальнями, площею 28,12 кв.м) прискорюється з 1 години 10 хвилин 31 секунди при ручному підході до 43 хвилин 46 секунд при автоматизованому (оптимізація на рівні 37,93%). Відповідно, формування найбільш габаритного Модуля D (з 3 спальнями, площею 29,25 кв.м) вручну вимагає 1 години 47 хвилин 49 секунд, тоді як інноваційна роботизована лінія виконує це ж завдання лише за 1 годину 07 хвилин 13 секунд, забезпечуючи економію часу у 37,66% [7]. На рівні окремих технологічних станцій автоматизація скорочує час створення каркасів на 49,6% для стін та 63% для балконів, а швидкість укладання ізоляції збільшується на вражаючі 67,6% [7].

Економічна ефективність таких інновацій підтверджується детальними розрахунками рентабельності інвестицій (ROI). Розрахунки показують, що початкові капіталовкладення у придбання чотирьох шарнірно-зчленованих роботів (середньою вартістю від 40 000 до 60 000 доларів США кожен) та двох декартових роботів становлять від 230 000 до 250 000 доларів США. З урахуванням щорічного технічного обслуговування, яке оцінюється у 5-10% від вартості обладнання (приблизно 23-25 тисяч доларів), загальні фінансові інвестиції складають близько 275 000 доларів США. Водночас заміна 16 працівників ручної праці, чия сукупна річна заробітна плата у цій сфері становить близько 560 000 доларів США, дозволяє зощадити підприємству близько 535 000 доларів чистого прибутку щороку. Відповідно, розрахунок періоду окупності має наступний вигляд:  $PP = 275\ 000 /$

535 000  $\approx$  0,51 року. Це означає, що капітальні інвестиції у роботизовану лінію префабрикації повністю окупаються приблизно за 6 місяців, що робить автоматизацію комплектації надзвичайно рентабельною бізнес-стратегією [7].

**4. Методологічне забезпечення та інтеграція.** CAD-BIM-CAM Ефективність описаних цифрових інструментів безпосередньо залежить від методологічного підґрунтя управління проєктом. Методологічне забезпечення організації будівництва має спиратися на процесно-орієнтовану модель життєвого циклу за принципом «stage-gate»: від DfMA (Design for Manufacture and Assembly) проєктування до виробництва на заводі та логістики «just-in-time» [4]. Критично важливою є наскрізна інтеграція систем CAD–BIM–CAM. Спочатку розрахункові методи прикладної механіки в CAD-середовищі використовуються для аналізу несучої здатності. Ці дані інтегруються у спільну BIM-модель, що виступає єдиним цифровим середовищем (CDE). Ця BIM-модель далі транслюється в CAM-технології – формуючи прями машинні інструкції (G-коди) для ЧПУ-верстатів та роботів на заводі [1, 4]. Це виключає потребу ручного перенесення креслень. Додатково використання просторових GNSS/RTK-датчиків дозволяє точно позиціонувати модулі на майданчику [1]. Планування логістики має базуватися на методах лінійного або тактового планування (Takt Planning), інтегрованих із системами коротких інтервалів (Last Planner) [4].

**5. Бар'єри на шляху автоматизації та цифровізації логістики.** Незважаючи на доведену ефективність, галузь стикається із серйозними бар'єрами на шляху впровадження автоматизованої логістики. Дослідження класифікує ці виклики на економічні, IT-пов'язані, соціальні та регуляторні [6]. По-перше, економічні бар'єри включають високі початкові витрати. Навіть при швидкій окупності, підприємства потребують значного первинного капіталу на закупівлю техніки та ліцензій. Більше того, нестабільний попит та орієнтація клієнтів на глибоко індивідуалізовані проєкти заважають досягти необхідного ефекту економії на масштабі, що критично для серійного роботизованого виробництва. По-друге, IT-бар'єри створюють суттєві перешкоди. Основною проблемою є відсутність безшовних програмних інтерфейсів. Як зазначають практики, трансляція архітектурних 3D-моделей у параметричні дані, які розуміє робототехніка, залишається складним «вузьким місцем». Фрагментованість ланцюгів постачань призводить до того, що суміжники не мають відповідних IT-можливостей, розриваючи цифровий контур. По-третє, соціальні та корпоративні бар'єри полягають у консервативності галузі. Працівники бояться втратити робочі місця через роботизацію, а керівництво не завжди має досвід в управлінні мехатронікою. По-четверте, регуляторні бар'єри уповільнюють індустріалізацію. Відсутність єдиних уніфікованих національних стандартів для модульного будівництва та вимога проводити поетапні перевірки якості безпосередньо на будівельному майданчику нівелюють перевагу заводської готовності. Для вирішення цих проблем потрібна глибока вертикальна інтеграція будівельних підприємств та розробка державних програм підтримки інновацій [6].

**Висновки.** Сучасні будівельні проєкти стикаються з безпрецедентними викликами урбанізації, екологічними кризами та логістичними обмеженнями, які неможливо подолати традиційними методами. Проведене дослідження переконливо доводить, що інформаційні технології є критичним інструментом для управління комплектацією та логістикою у збірному житловому будівництві. Формування цифрової екосистеми на основі BIM-моделювання, Інтернету речей (IoT) та алгоритмів машинного навчання дозволяє перейти від фрагментарного ручного управління до проактивного контролю ланцюгів постачання в режимі

реального часу. Розглянута логістична модель Just-In-Time (JIT) з двокритеріальною оптимізацією доводить свою виняткову стійкість до транспортних затворів, знижуючи ризики надмірного викиду вуглецю майже вдвічі у порівнянні з традиційним складуванням. На заводському рівні комплектації впровадження автоматизації та промислової робототехніки дозволяє радикально скоротити час збирання житлових модулів – в середньому на 36-37%. При цьому економічні розрахунки підтверджують, що початкові капітальні інвестиції в роботизовані лінії (близько 275 тис. доларів) здатні окупитися лише за 6 місяців завдяки колосальній економії на фонді оплати праці. Однак для повномасштабного масштабування цих досягнень необхідно системно подолати існуючі економічні, IT-інтерфейсні, соціальні та регуляторні бар'єри. Галузь потребує переходу до «роботоорієнтованого проектування» (robot-oriented design), наскрізної інтеграції CAD-BIM-CAM та адаптації державних будівельних норм. Загалом, цифровізація будівельної логістики – це глибока стратегічна трансформація, здатна забезпечити економічну вигоду, підвищити швидкість зведення об'єктів та сприяти досягненню глобальних цілей сталого розвитку.

### **Список літератури:**

1. Балака М.М., Міщук Д.О. Інтеграція BIM-технологій у транспортне будівництво. *Інтелектуальні транспортні технології: VI Міжнародна наук.-техн. конференція: тези доповідей*, Харків, 24–26 листопада 2025 р. / Укр. держ. ун-т залізнич. трансп. Харків: УкрДУЗТ, 2025. С. 219–221.
2. Векленко О.Г. Сутність логістики. *Інноваційні підходи до розвитку технологій та економіки IADTE 2024: збірник тез доповідей науково-практичної конференції*. Сваліява. ЗУНУ. Червень 27, 2024. С. 40–41.
3. Галюк І.Б., Єжак Ф.Ф. Логістика будівництва та сталий розвиток: виклики та перспективи. *Науковий вісник ІФНТУНГ. Серія “Економіка та управління в нафтовій і газовій промисловості”*. 2024. № 2 (30). С. 110-1117. [https://doi.org/10.31471/2409-0948-2024-2\(30\)-110-117](https://doi.org/10.31471/2409-0948-2024-2(30)-110-117)
4. Зяхор Д.О., Зінков О.В. Методологічне забезпечення організації будівництва промислових об'єктів зі збірного залізобетону як чинник ефективності реалізації проектів. *Будівельне виробництво*. 2025. № 81. С. 124–129. <https://doi.org/10.36750/2524-2555.81.124-129>
5. Чубін А.І. Застосування цифрових технологій для оптимізації постачання будівельних матеріалів та обладнання. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2024. Вип. 53(2). С. 351–367. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53\(2\).351-367](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53(2).351-367)
6. Feldmann F.G. Towards Lean Automation in Construction-Exploring Barriers to Implementing Automation in Prefabrication. *Sustainability*. 2022. 14(19). 12944. <https://doi.org/10.3390/su141912944>
7. Ouda E., Haggag M. Automation in Modular Construction Manufacturing: A Comparative Analysis of Assembly Processes. *Sustainability*. 2024. 16(21). 9238. <https://doi.org/10.3390/su16219238>
8. Zhang C., Jiang J., Xia C., Fu Y., Liu J., Duan P. Dual-objective optimization of prefabricated component logistics based on JIT strategy. *Scientific Reports*. 2024. 14(1). 82689. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82689-w>

**Oleksandr OSIPOV, Olena YEMELIANOVA**

***Information technologies in the management of configuration and logistics of prefabricated housing construction***

*The article investigates modern approaches to the application of information technologies in the management of configuration and logistics in prefabricated housing construction. The relevance of the research is determined by the rapid urbanization processes, the growing global demand for affordable housing, and the need to significantly reduce construction project implementation time. Traditional methods of construction management are often characterized by insufficient coordination of material, informational, and transport flows, which leads to delays in supply chains, inefficient use of resources, and reduced productivity of construction processes. In this context, the digital transformation of logistics and supply management becomes an essential prerequisite for improving the efficiency of prefabricated and modular construction systems.*

*The aim of the study is to analyze the potential and effectiveness of modern information technologies, including Building Information Modeling (BIM), the Internet of Things (IoT), cloud computing, and intelligent supply chain management systems, in optimizing logistics and configuration processes in prefabricated residential construction. The research is based on a comprehensive methodological framework that includes system analysis, mathematical modeling, comparative analysis, and optimization techniques. In particular, a dual-objective optimization model considering carbon emissions and customer satisfaction indicators was applied to analyze logistics processes. The optimization problem was solved using an improved Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II). Additionally, simulation modeling of modular assembly processes was conducted using the Visual Components 3D environment.*

*The results of the study demonstrate that the implementation of digital technologies significantly improves the efficiency of logistics management in construction projects. A comparative analysis of manual and automated assembly processes revealed that robotic production lines can reduce the duration of modular assembly operations by approximately 35–38%. Economic calculations confirm the high investment efficiency of automated prefabrication technologies, with relatively short payback periods due to substantial labor cost savings.*

*The study also identifies the key barriers that hinder the widespread implementation of digital technologies in prefabricated construction. These barriers include high initial investment costs, technological challenges related to the integration of information systems, insufficient digital competencies among construction professionals, and regulatory constraints within existing construction standards. To address these challenges, methodological approaches based on process-oriented life cycle management and the integration of CAD–BIM–CAM systems are proposed.*

***Keywords: prefabricated construction; modular construction; supply logistics; information technologies; BIM modeling; production automation; sustainable development, resource management, resource management information systems, construction quality, quality management, technical supervision, digitalization, logistical and structural support of construction, digitalization, BIM, engineering, development.***

Дата надходження статті: 21.01.2026

Дата прийняття статті: 25.02.2026